

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. September 2002 (19.09.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/073705 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01L 33/00**

GMBH [DE/DE]; Wernerwerkstr. 2, 93049 Regensburg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/00514

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Februar 2002 (13.02.2002)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BAUR, Johannes** [DE/DE]; Am Haslach 9, 93180 Deuerling (DE). **EISERT, Dominik** [DE/DE]; Agricolaweg 11, 93049 Regensburg (DE). **FEHRER, Michael** [DE/DE]; Rilkestrasse 5B, 93077 Bad Abbach (DE). **HAHN, Berthold** [DE/DE]; Am Pfannenstiel 2, 93155 Hemau (DE). **HÄRLE, Volker** [DE/DE]; Eichenstrasse 35, 93164 Waldetzingen (DE). **ORTMANN, Marianne** [DE/DE]; Zum Stillen Tal 6, 93170 Bernhardswald (DE). **STRAUB, Uwe** [DE/DE]; Erich-Kästner-Strasse 32, 93077 Bad Abbach (DE). **VÖLKL, Johannes** [DE/DE]; Hofer Strasse 4, 91056

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

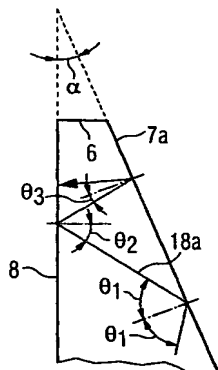
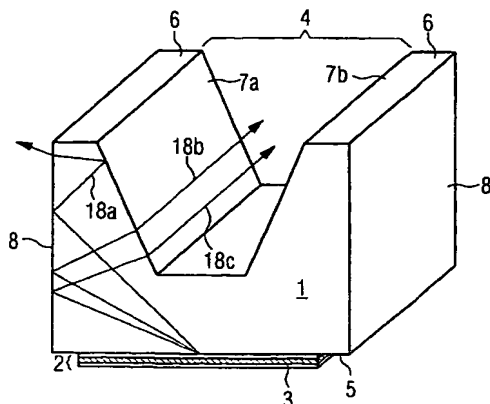
(30) Angaben zur Priorität:
101 11 501.6 9. März 2001 (09.03.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: RADIATION-EMITTING SEMICONDUCTOR COMPONENT AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME

(54) Bezeichnung: STRALUNGSEMITTIERENDES HALBLEITERBAUELEMENT UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG



(57) Abstract: The invention relates to a radiation-emitting semiconductor component with an improved radiation yield and to a method for producing the same. The semiconductor element has a multilayer structure (2) with an active layer (3) for generating the radiation within the multilayer structure (2) and a window (1) with a first and a second primary surface. The multilayer structure adjoins the first primary surface (5) of the window (1). At least one recess is formed in the window (1), starting from the second primary surface (6), for increasing the radiation yield. The recess preferably has a trapezoidal cross-section, which tapers towards the first primary surface (5) and can be produced, for example, by sawing into the window.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung beschreibt ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement mit verbesserter Strahlungsausbeute sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung. Das Halbleiterbauelement weist eine Mehrschichtstruktur (2) mit einer aktiven Schicht (3) zur Strahlungserzeugung innerhalb der Mehrschichtstruktur (2) sowie ein Fenster (1) mit einer ersten und einer zweiten Hauptfläche auf. Die Mehrschichtstruktur grenzt an die erste Hauptfläche (5) des Fensters (1). Von der zweiten Hauptfläche (6) her ist in dem Fenster (1) mindestens eine Ausnehmung zur Erhöhung der Strahlungsausbeute gebildet. Die Ausnehmung weist vorzugsweise einen trapezförmigen, sich zur ersten Hauptfläche (5) hin verjüngenden Querschnitt auf und kann beispielsweise durch Einsägen des Fensters hergestellt werden.

WO 02/073705 A2



Erlangen (DE). **ZEHNDER, Ulrich** [DE/DE]; Augustenstrasse 11, 93049 Regensburg (DE).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(74) Anwalt: EPPING HERMANN & FISCHER; Ridlerstr. 55, 80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement und Verfahren zu dessen Herstellung

5

Die Erfindung betrifft ein strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie ein Herstellungsverfahren hierfür nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 16.

10

Strahlungsemittierende Halbleiterbauelemente der genannten Art weisen in der Regel ein Halbleitermehrschichtsystem mit einer aktiven, der Strahlungserzeugung dienenden Schicht auf, das auf einen Träger aufgebracht ist. Die Strahlungsauskopplung erfolgt durch den Träger hindurch, wobei der Träger für die erzeugte Strahlung transparent ist. Bei dieser Anordnung wird jedoch die Strahlungsausbeute durch Totalreflexion an der Trägeroberfläche stark eingeschränkt. Diese Problematik tritt besonders stark bei Trägern mit hohem Brechungsindex wie beispielsweise SiC-Substraten auf und wird weiter verschärft, wenn der Brechungsindex des Trägers größer ist als der Brechungsindex des Mehrschichtsystems.

15

20

25

Der Einfluß der Totalreflexion auf die Strahlungsauskopplung ist beispielhaft in Figur 9 anhand eines GaN-basierenden Mehrschichtsystems 20 auf einem quaderförmigen, im Schnitt rechteckigen SiC-Substrat 19 dargestellt. Das SiC-Substrat 19 mit einem Brechungsindex von etwa 2,7 stellt gegenüber dem Mehrschichtsystem 20 mit einem Brechungsindex von etwa 2,5 das optisch dichtere Medium dar. Die gezeigte Halbleiterstruktur ist von einem Medium mit geringem Brechungsindex, beispielsweise Luft, umgeben.

30

35

Die Mehrschichtstruktur 20 weist eine aktive strahlungserzeugende Schicht 21 auf. Es sei aus der aktiven Schicht 21 ein kleines strahlungsemittierendes Volumen 23 herausgegriffen, das näherungsweise als isotroper Punktstrahler beschrieben

werden kann. Die folgende Betrachtung trifft auf nahezu alle solchen Teilvolumina 21 der aktiven Schicht zu.

Die von dem Volumen 23 in Richtung des SiC-Substrats 19 emittierte Strahlung 22 trifft zunächst auf die Mehrschichtsystem-Substrat-Grenzfläche auf und wird beim Eintritt in das Substrat zur Grenzflächennormale hin gebrochen.

Eine direkte Auskopplung der Strahlung an der der Grenzfläche gegenüberliegenden Substrathauptfläche 25 ist nur für Strahlungsanteile möglich, deren Einfallswinkel kleiner als der Totalreflexionswinkel (jeweils bezogen auf die Normale der Auskoppelfläche 25) ist. Für ein hochbrechendes Substrat ist der Totalreflexionswinkel vergleichsweise klein und beträgt beispielsweise für SiC etwa 22° .

Daher wird lediglich ein geringer Teil 22c der erzeugten Strahlung aus dem Zentrum des Strahlenbündels 22a,b,c direkt ausgekoppelt. Der Rest der erzeugten Strahlung wird totalreflektiert.

Der an der Auskoppelfläche 25 totalreflektierte Strahlungsanteil 22b trifft nachfolgend unter einem noch flacheren Winkel auf die Substratseitenfläche 26 auf und wird wiederum totalreflektiert.

Ebenso werden die verbleibenden Strahlungsanteile 22a, die zuerst auf die Seitenflächen 26 des Substrats 19 auftreffen, zunächst an den Seitenflächen 26 und anschließend an der Auskoppelfläche 25 totalreflektiert.

Bei der gezeigten rechtwinkligen Anordnung von Seiten- und Hauptflächen geht der Einfallswinkel nach einer Reflexion in sich selbst oder den Komplementärwinkel über, so daß auch nach mehrfachen Reflexionen eine Auskopplung der Strahlungsanteile 22a,b an diesen Flächen nicht möglich ist.

Somit wird von der gesamten in Richtung des Substrats 19 emittierten Strahlung 22 nur ein sehr geringer Anteil 22c ausgekoppelt. Der Rest der Strahlung 22a,b läuft unter vielfacher Totalreflexion im Substrat 19 um, tritt gegebenenfalls
5 wieder in die Mehrschichtstruktur 20 ein und wird schließlich im Laufe dieser zyklischen Propagation absorbiert.

Aus DE 198 07 758 A1 ist ein lichtemittierendes Halbleiterelement bekannt, dessen Halbleiterseitenflächen zur Erhöhung der Strahlungsausbeute ganz oder teilweise angeschrägt
10 sind, so daß das Substrat die Form eines Pyramidenstumpfs erhält. Aufgrund dieses Anschrägens wird der Einfallswinkel für Teile der erzeugten Strahlung beim Auftreffen auf die Seitenflächen unter den Totalreflexionswinkel verringert, so daß
15 diese Strahlungsanteile auskoppelbar sind.

Da die zusätzliche Strahlungsauskopplung nur an den Randbereichen des Bauelements erfolgt, wird insbesondere bei großflächigen Bauelementen mit vergleichsweise dünnen Substraten
20 die Strahlungsausbeute nur geringfügig erhöht. Zudem sind viele Bestückungsanlagen für Halbleiterchips mit einem Substrat in Quader- oder Würfelform ausgelegt. Die Änderung der Substratgrundform kann bei solchen Anlagen zu Funktionsstörungen führen oder kostenaufwendige Umrüstungen erforderlich
25 machen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein strahlungsemit-
tierendes Halbleiterbauelement der eingangs genannten Art mit verbesserter Strahlungsausbeute zu schaffen sowie ein
30 Herstellungsverfahren hierfür anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelemente nach Patentanspruch 1 beziehungsweise ein Herstellungsverfahren nach Patentanspruch 16 gelöst. Vorteil-
35 hafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 15 und 17 bis 23.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, ein strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement mit einer Mehrschichtstruktur, einer aktiven, der Strahlungserzeugung dienenden Schicht innerhalb der Mehrschichtstruktur, mit der aktiven Schicht elektrisch verbundenen Kontakten und einem für die erzeugte Strahlung durchlässigen Fenster mit einer ersten Hauptfläche und einer der ersten Hauptfläche gegenüberliegenden zweiten Hauptfläche zu bilden, wobei das Fenster mit der ersten Hauptfläche an die Mehrschichtstruktur grenzt und von der zweiten Hauptfläche her mindestens eine grabenartige oder grubenartige Ausnehmung in dem Fenster zur Erhöhung der Strahlungsausbeute gebildet ist.

Die Ausnehmung ist dabei so ausgeführt, daß Teile der erzeugten Strahlung an ihren Begrenzungsflächen ausgekoppelt oder in einer die Auskopplung aus dem Fenster begünstigenden Art reflektiert werden.

Eine Auskopplung von Strahlungsanteilen wird dadurch erreicht, daß die Begrenzungsflächen der Ausnehmung zumindest teilweise so angeordnet sind, daß der Einfallswinkel dieser Strahlungsanteile auf die Begrenzungsflächen möglichst gering und insbesondere kleiner als der Totalreflexionswinkel ist.

Eine die Auskopplung begünstigende Reflexion liegt beispielsweise vor, wenn Strahlungsanteile zunächst von den Begrenzungsflächen der Ausnehmung totalreflektiert werden, wobei die zyklische Propagation innerhalb des Fensters durchbrochen wird, so daß die betreffenden Strahlungsanteile zumindest nach einigen weiteren Reflexionen an einer Begrenzungsfläche des Fensters ausgekoppelt werden können.

Die Unterbrechung einer zyklischen Propagation bewirkt insbesondere bei einem Fenster, dessen Seitenflächen senkrecht zu den Hauptflächen angeordnet sind, eine Erhöhung der Strahlungsausbeute. Wie eingangs beschrieben bilden sich bei solchen Anordnungen mit würfel- oder quaderförmigem Fenster zy-

klisch propagierende Strahlungsbündel sehr leicht aus, so daß der Anteil der nicht auskopplungsfähigen Strahlung dementsprechend hoch ist.

5 Mit Vorteil erfordert die Erhöhung der Strahlungsausbeute mittels einer Ausnehmung in dem Fenster keine Änderungen der einhüllenden Grundform des Fensters, so daß zur Herstellung erfindungsgemäßer Bauelemente auch Produktions- und Bestückungsanlagen verwendet werden können, deren Funktion auf be-
10 stimmte vorgegebene Grundformen des Fensters festgelegt ist. Mit der Erfindung kann insbesondere eine hohe Strahlungsausbeute bei bekannten und etablierten Fenstergrundformen wie beispielsweise einer einhüllenden Würfel- oder Quaderform erzielt werden.

15 Zur weiteren Erhöhung der Strahlungsausbeute sind bei der Erfindung bevorzugt mehrere Ausnehmungen in dem Fenster gebildet. Besonders bevorzugt ist im Hinblick auf die gering zu haltende Anzahl von Herstellungsschritten eine Mehrzahl
20 gleichförmiger Ausnehmungen.

Im Gegensatz zu einer randseitigen Strukturierung des Fensters zur Erhöhung der Strahlungsausbeute, beispielsweise durch Anschrägen der Seitenflächen, kann bei der Erfindung
25 eine verbesserte Auskopplung über eine größere Fläche und eine gleichmäßigere Verteilung der ausgekoppelten Strahlung auf dieser Fläche erreicht werden. Dies ist von besonderem Vorteil für großflächige Bauelemente, da bei nach oben skaliertem Bauelementeumfang das Verhältnis von Umfang zu Fläche
30 sinkt. Daher sind bei großflächigen Bauelementen auf den Umfang der Bauelemente beschränkte Mittel zu Erhöhung der Strahlungsausbeute in der Regel weit weniger effizient als in der Fläche aufgebrauchte Mittel zu Erhöhung der Strahlungsausbeute.

35 Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist die Ausnehmung in dem Fenster mindestens eine ebene Seitenfläche

auf, die mit der zweiten Hauptfläche des Fensters einen von 90° verschiedenen Winkel einschließt. Besonders bevorzugt liegt dieser Winkel zwischen 20° und 70°. Eine derartige Ausnehmung kann beispielsweise in Form eines Grabens mit zu den
5 Hauptflächen schrägstehenden Seitenwänden realisiert werden, der zum Beispiel durch entsprechendes Einsägen des Fensters hergestellbar ist. Bevorzugt weist ein solcher Graben einen trapezförmigen, sich in Richtung der Mehrschichtstruktur verjüngenden Querschnitt auf.

10

Zur weiteren Erhöhung der Strahlungsausbeute können auch mehrere sich kreuzende oder parallel verlaufende Gräben ausgebildet sein. Eine Parallelanordnung bewirkt eine asymmetrische Richtcharakteristik der erzeugten Strahlung, während
15 sich kreuzende Gräben zu einer gleichmäßigen Verteilung der ausgekoppelten Strahlung führen. Je nach Anwendungsgebiet kann eine der beiden Ausführungsformen vorteilhafter sein.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung
20 ist die Ausnehmung ganz oder teilweise von gekrümmten Flächen begrenzt. Die Reflexion an gekrümmten Begrenzungsflächen einer Ausnehmung schließt mit Vorteil eine zyklische Propagation weitgehend aus. Die Ausnehmungen können hierbei insbesondere in Form einer Halbkugel, eines Kugelsegments, eines
25 Ellipsoidsegments, eines Kegels oder eines Kegelstumpfs gebildet sein. Auch ähnliche Formen, die beispielsweise aus den genannten Grundformen durch Verzerrungen wie Streckung, Stauchung oder Scherung hervorgehen, sind geeignet.

30 Solche Formen sind beispielsweise durch Laserablation oder Ätzen herstellbar. Auch können die obengenannten grabenförmigen Ausnehmungen von gekrümmten Flächen begrenzt und beispielsweise mit einem halbkreisförmigem Querschnitt gebildet sein.

35

Bei einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist die Mehrschichtstruktur epitaktisch hergestellt. Aus dem Epita-

xiesubstrat kann später zugleich das Fenster gefertigt werden. Besondere Vorteile besitzt die Erfindung bei hochbrechenden Substraten wie beispielsweise SiC mit dementsprechend großen Totalreflexionsbereichen, insbesondere dann, wenn der Brechungsindex des Substrats größer ist als der Brechungsindex der Mehrschichtstruktur. Unter dem Brechungsindex der Mehrschichtstruktur ist dabei der Brechungsindex des an das Substrat grenzenden Bereichs der Mehrschichtstruktur zu verstehen, da das Ausmaß der Totalreflexion maßgeblich durch den Brechungsindexsprung an der Grenzfläche zwischen Substrat und Mehrschichtstruktur bestimmt wird. In der Regel setzt sich die Mehrschichtstruktur aus Materialien zusammen, deren Unterschiede im Brechungsindex zueinander gegenüber dem Brechungsindex des Substrats vernachlässigt werden kann. Daher kann als Brechungsindex der Mehrschichtstruktur auch der mittlere Brechungsindex der hierin enthaltenen Materialien herangezogen werden.

Wie eingangs beschrieben, tritt dieser Fall vor allem bei GaN-basierenden Mehrschichtstrukturen auf. Dies sind Mehrschichtstrukturen, die GaN oder eine davon abgeleitete oder damit verwandte Verbindung enthalten. Hierzu zählen insbesondere GaN selbst, darauf basierende Mischkristallsysteme wie AlGaN ($\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$, $0 \leq x \leq 1$), InGaN ($\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$, $0 \leq x \leq 1$) und AlInGaN ($\text{Al}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Ga}_y\text{N}$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) sowie AlN, InN und InAlN ($\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$, $0 \leq x \leq 1$).

Üblicherweise werden solche Mehrschichtstrukturen auf einem SiC- oder Saphirsubstrat epitaktisch aufgewachsen, das zumindest teilweise für die erzeugte Strahlung, vornehmlich im blauen und grünen Spektralbereich, transparent ist. Bei beiden Substraten kann mit der Erfindung die Strahlungsausbeute durch Minderung der Totalreflexionsverluste erhöht werden, wobei die Erfindung für SiC-Substrate aufgrund der eingangs beschriebenen, durch den hohen Brechungsindex entstehenden Problematik von besonderem Vorteil ist.

Die Erfindung ist jedoch nicht auf GaN-basierende Systeme beschränkt, sondern kann ebenso bei anderen Halbleitersystemen wie beispielsweise bei GaAs-, GaP- oder ZnSe-basierenden Materialien angewandt werden. Auch hier verbleibt ein erheblicher Teil der erzeugten Strahlung aufgrund von Totalreflexion in der Mehrschichtstruktur-Fenster-Anordnung und wird schließlich absorbiert.

Ebenso ist die Erfindung auch für andere als die bisher genannten Fenstermaterialien, beispielsweise Quarzglas, Diamant, ITO (indium tin oxide) oder auf ZnO, SnO, InO oder GaP basierende Materialien vorteilhaft, da in der Regel bei all diesen Fenstern bei der Auskopplung ein Übergang in ein optisch dünneres Medium vorliegt, bei dem Totalreflexion auftreten kann und der Auskoppelgrad dementsprechend reduziert ist.

Weiterhin ist die Erfindung auch für vergossene oder anderweitig mit einer Umhüllung versehene Halbleiterkörper beziehungsweise Fenster vorteilhaft, da die Umhüllung in der Regel den niedrigeren Brechungsindex aufweist, so daß auch in diesem Fall die Strahlungsausbeute durch Totalreflexion vermindert wird.

Ein Fenster aus den genannten Materialien kann nach der Herstellung der Mehrschichtstruktur auf die Mehrschichtstruktur aufgebracht sein. Bei der epitaktischen Herstellung ist dies beispielsweise dadurch möglich, daß nach der Epitaxie das Epitaxiesubstrat abgelöst und das Fenster an dessen Stelle mittels eines Waferbondingverfahrens mit der Mehrschichtstruktur verbunden wird. Alternativ kann das Fenster auch auf die epitaktisch hergestellte Halbleiteroberfläche aufgebracht und danach das Epitaxiesubstrat abgelöst werden. Diese Vorgehensweise besitzt den Vorteil, daß das Epitaxiesubstrat weiter verwendet werden kann, was insbesondere bei teuren Materialien wie beispielsweise SiC-Substraten zu einem deutlichen Kostenvorteil führt.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemittierenden Halbleiterbauelements der genannten Art beginnt mit der Bereitstellung einer Fensterschicht, beispielsweise in Form eines geeigneten Substrats oder Wafers, mit einer ersten Hauptfläche und einer der ersten Hauptfläche gegenüberliegenden zweiten Hauptfläche.

Auf die erste Hauptfläche wird im nächsten Schritt eine Halbleiterschichtenfolge aufgebracht, die der zu bildenden Mehrschichtstruktur entspricht. Vorzugsweise erfolgt die Aufbringung epitaktisch oder mittels eines Waferbonding-Verfahrens.

Danach wird die Fensterschicht von der zweiten Hauptfläche her mit einem Sägeblatt mit Formrand eingesägt und damit eine grabenförmige Ausnehmung in dem Substrat gebildet. Die Schnitttiefe ist hierbei geringer als die Dicke der Fensterschicht.

Abschließend werden die Bauelemente fertiggestellt. Dies umfaßt beispielsweise Kontaktierung und Vereinzelung der Halbleiterschichtenfolge. Bei der Vereinzelung wird der Verbund von Fensterschicht und Halbleiterschichtenfolge in eine Mehrzahl von Fenstern mit jeweils darauf angeordneter Mehrschichtstruktur zerteilt.

Alternativ können die Ausnehmungen auch unter Verwendung einer geeigneten Maskentechnik geätzt oder mittels Laserablation hergestellt werden. Diese Alternative ermöglicht die Ausbildung von räumlich isolierten Ausnehmungen, also von Ausnehmungen, die sich nicht über die gesamte Fläche der Fensterschicht oder größere Teilbereiche hiervon erstrecken.

Isolierte Ausnehmungen können beispielsweise wie oben beschrieben in Gestalt eines Kegels, eines Kegelstumpfs, einer Halbkugel, eines Kugelkugelsegment, eines Ellipsoidsegments oder einer ähnlichen Form gebildet sein.

Weitere Merkmale, Vorzüge und Zweckmäßigkeiten der Erfindung werden nachfolgend anhand von acht Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren 1 bis 8 erläutert.

5 Es zeigen:

Figur 1a und 1b eine schematische, perspektivische Teil-
schnittsdarstellung und eine schematische Detailansicht eines
ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halblei-
10 terbauelements,

Figur 2 eine schematische, perspektivische Dar-
stellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungs-
gemäßen Halbleiterbauelements,

15 Figur 3a und 3b eine schematische, perspektivische Dar-
stellung und eine Schnittdarstellung eines dritten Ausfüh-
rungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements,

20 Figur 4 eine schematische, perspektivische Dar-
stellung eines vierten Ausführungsbeispiels eines erfindungs-
gemäßen Halbleiterbauelements,

Figur 5 eine schematische, perspektivische Dar-
25 stellung eines fünften Ausführungsbeispiels eines erfindungs-
gemäßen Halbleiterbauelements,

Figur 6 eine schematische Schnittdarstellung ei-
nes sechsten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen
30 Halbleiterbauelements,

Figur 7 eine schematische Schnittdarstellung ei-
nes siebten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen
Halbleiterbauelements,

35

Figur 8 eine schematische Schnittdarstellung eines achten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements und

- 5 Figur 9 eine schematische Schnittdarstellung eines Halbleiterbauelements nach dem Stand der Technik.

Das in Figur 1a dargestellte Ausführungsbeispiel weist ein Fenster 1 mit einer ersten Hauptfläche 5 und einer zweiten
10 Hauptfläche 6 auf, wobei auf die ersten Hauptfläche 5 eine Mehrschichtstruktur 2 aufgebracht ist.

Die Mehrschichtstruktur 2 besteht aus einer Mehrzahl von Halbleiterschichten des Systems GaN/AlGaN. Diese Mehrschicht-
15 struktur 2 enthält eine aktive Schicht 3, die im Betrieb Strahlung 18 erzeugt (beispielhaft dargestellt anhand der Strahlen 18a, b, c).

Das Fenster 1 ist aus einem zur epitaktischen Herstellung der
20 Mehrschichtstruktur 2 verwendeten SiC-Epitaxiesubstrat gefertigt und weist eine grabenförmigen Ausnehmung 4 mit trapezförmigem Querschnitt auf, die bereits in dem Epitaxiesubstrat, vorzugsweise nach der Epitaxie, gebildet wurde.

25 Abgesehen von dieser Ausnehmung 4 besitzt das Fenster 1 eine quaderförmige einhüllende Grundform. Wie eingangs beschrieben ist bei einer solchen Vorrichtung mit einem Substrat, dessen Brechungsindex größer ist als der Brechungsindex der Mehrschichtstruktur, die Auskopplung der erzeugten Strahlung
30 durch die Fensterflanken 8 aufgrund von Totalreflexion sehr begrenzt.

Durch das Anschrägen der Seitenflächen 7a,b der grabenförmigen Ausnehmung 4 wird der Einfallswinkel für einen Teil 18b,c
35 der von der Flanke 8 des Fensters reflektierten Strahlung so weit erniedrigt, daß er kleiner ist als der Totalreflexions-

winkel und somit die Strahlung aus dem Fenster austreten kann.

5 Strahlungsanteile 18a, die trotz der Schrägstellung der entsprechenden Seitenwand 7a so flach einfallen, daß sie an der Seitenwand 7a totalreflektiert werden, werden zwischen der Fensterflanke 8 und der Seitenfläche der Ausnehmung 7a hin- und herreflektiert, wobei der Einfallswinkel nach jeder Reflexion geringer wird, bis schließlich eine Auskopplung möglich ist. Dies ist zur Verdeutlichung in der Detailschnittansicht in Figur 1b erläutert.

Der Winkel α bezeichnet den Winkel zwischen der Seitenfläche der Ausnehmung 7a und der Flanke des Fensters 8. Ein Strahl 15 18a, der mit einem Einfallswinkel θ_1 ($\theta_1 > \theta_c$, θ_c : Totalreflexionswinkel) auf die Ausnehmungsseitenfläche 7a trifft, wird unter Totalreflexion auf die Flanke 8 zurückgeworfen. Der Einfallswinkel θ_2 auf die Fensterflanke 8 ist gegenüber dem Einfallswinkel θ_1 bei der vorigen Reflexion um den Betrag α 20 reduziert:

$$\theta_2 = \theta_1 - \alpha.$$

Falls, wie dargestellt, θ_2 größer als der Totalreflexionswinkel θ_c ist, wird der Strahl 18a erneut auf die Seitenfläche 7a rückreflektiert und trifft dort mit dem Einfallswinkel

$$\theta_3 = \theta_2 - \alpha = \theta_1 - 2\alpha$$

30 auf. Es wird also bei jeder Reflexion der Einfallswinkel um den Betrag α reduziert, bis eine Auskopplung stattfinden kann.

Das in Figur 2 gezeigte Ausführungsbeispiel unterscheidet 35 sich von dem vorigen Beispiel darin, daß zwei sich unter einem rechten Winkel kreuzende Ausnehmungen 4a,b in dem Fenster 1 gebildet sind, wobei jede Ausnehmung in Form eines Grabens

mit trapezförmigem Querschnitt ausgeführt ist. Damit wird die Gesamtauskoppelfläche und somit auch die Strahlungsausbeute vorteilhaft weiter erhöht.

- 5 Die beschriebenen Ausnehmungen werden vorzugsweise nach der epitaktischen Herstellung der Mehrschichtstruktur 2 durch Einsägen des Epitaxiesubstrats auf der der Mehrschichtstruktur abgewandten Seite mit einem Sägeblatt mit Formrand hergestellt. Der Formrand weist dabei im Querschnitt (Schnitt quer
10 zur Sägerichtung) die dem gewünschten Grabenquerschnitt entsprechende Komplementärform auf.

Das in Figur 2 gezeigte Ausführungsbeispiel wird entsprechend durch zwei sich kreuzende Sägeschnitte hergestellt. Die Säge-
15 tiefe ist dabei kleiner als die Fensterdicke, um die Mehrschichtstruktur 2 nicht zu beschädigen.

Das in Figur 3a perspektivisch dargestellte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von den vorangehend beschriebenen
20 Ausführungsbeispielen darin, daß in dem Fenster eine räumlich isolierte, umlaufend begrenzte Ausnehmung 4 in Form einer Halbkugel ausgebildet ist. Solche umlaufend begrenzten Ausnehmungen werden im Gegensatz zu grabenförmigen Ausnehmungen vorzugsweise in das Fenster 1 eingeätzt. Figur 3b zeigt einen
25 mittigen, zur Mehrschichtfolge 2 senkrechten Schnitt durch das Ausführungsbeispiel.

Die Herstellung von Ausnehmungen durch Ätzen ist insbesondere geeignet für die Ausbildung einer Vielzahl von Ausnehmungen
30 in einem Fenster 1, wie sie beispielsweise in Figur 4 dargestellt sind. Bei Verwendung einer geeigneten, auf bekannten Technologien beruhenden Maskentechnik können dabei alle Ausnehmungen in einem einzigen Herstellungsschritt kostengünstig erzeugt werden. Die so gebildeten Bauelemente zeichnen sich
35 durch eine hohen Strahlungsausbeute und eine besonders gleichmäßige Strahlungsverteilung auf der Auskoppelfläche aus.

Die Kontaktierung erfolgt bei dem in Figur 4 dargestellten Ausführungsbeispiel über metallisierte Kontaktbänder 9a,b, die zwischen den Ausnehmungen verlaufen und jeweils in einem Drahtanschlußbereich 11a,b enden. Als Gegenkontakt ist eine Kontaktfläche 10 auf die von dem Fenster 1 abgewandte Seite der Mehrschichtstruktur 2 aufgebracht. Diese Kontaktfläche 10 kann beispielsweise als reflektierende Fläche gebildet sein. Dadurch werden auf die Kontaktfläche auftreffende Strahlungsanteile wieder in Richtung der Auskoppelfläche 6 zurückreflektiert. Für eine möglichst gleichförmige Stromeinleitung in die Mehrschichtstruktur ist eine vollflächig ausgebildete Kontaktfläche vorteilhaft.

In Figur 5 ist ebenfalls ein Ausführungsbeispiel mit einer Mehrzahl von Ausnehmungen 4 in einem Fenster 1 gezeigt, die im Unterschied zu dem vorigen Ausführungsbeispiel als zueinander parallele Gräben angeordnet sind. Die Form der einzelnen Ausnehmungen entspricht dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1. Eine solche Struktur kann leicht durch mehrfaches paralleles Einsägen mit einem Formrandsägeblatt hergestellt werden. Diese Formgebung eignet sich insbesondere für großflächige Halbleiterbauelemente.

Die Kontaktierung des Bauelements erfolgt wiederum über zwei metallisierte Streifen 9a, b, die randnah auf die Hauptfläche 6 und die Ausnehmungen 4 aufgebracht sind und jeweils in einem Drahtanschlußbereich 11a,b enden. Der entsprechende Gegenkontakt ist als rückseitige Kontaktschicht 10 auf der Mehrschichtstruktur 2 ausgebildet.

Bei dem in Figur 6 dargestellten Ausführungsbeispiel sind im Unterschied zu den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen die Fensterflanken teilweise angeschrägt. Die Fensterflanken weisen hierbei seitens der ersten Fensterhauptfläche 5 einen ersten, zur Hauptfläche 5 orthogonalen Teilbereich 8a auf. Dieser erste Teilbereich 8a geht in Richtung der zweiten Hauptfläche 6 in einen zweiten, schräg zu den Hauptflächen 5

und 6 angeordneten Teilbereich 8b über. Ferner ist wie bei dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel in dem Fenster 1 eine Ausnehmung 4 mit schrägstehenden Seitenflächen 7 gebildet.

5

Durch diese Formgebung wie vorteilhafterweise die Strahlungsausbeute weiter erhöht, da die angeschrägten Bereiche 8b der Fensterflanken in ähnlicher Weise wie die schrägstehenden Seitenflächen 7 der Ausnehmung 4 den Anteil der totalreflektierten Strahlung vermindern. Im ersten Teilbereich 8a der Fensterflanken weist das Fenster zudem eine quaderförmige Grundform auf, die, wie beschrieben, die Montage des Halbleiterbauelements erleichtert und insbesondere für automatische Bestückungsanlagen vorteilhaft ist. Selbstverständlich kann auch auf die quaderförmige Grundform ganz verzichtet werden, um eine noch höhere Strahlungsausbeute zu erreichen.

10

15

20

25

In Figur 7 ist ein Ausführungsbeispiel eines optischen Bauelements gezeigt, das ein erfindungsgemäßes strahlungsemit- tierendes Halbleiterbauelement enthält. Das Halbleiterbauelement entspricht dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 5 und ist auf einen metallischen Kühlkörper 12, beispielsweise einen Kupferblock, aufgebracht. Der Kühlkörper ist elektrisch leitend mit der rückseitig auf der Mehrschichtstruktur 2 ausgebildeten Kontaktschicht 10 verbunden und dient sowohl der Wärmeabfuhr als auch der Kontaktierung. Das Halbleiterbauelement kann dabei auf den Kühlkörper 12 mittels eines elektrisch leitenden Klebstoffs aufgeklebt oder aufgelötet sein.

30

Abstrahlungsseitig ist das Halbleiterbauelement mit einem Verguß 13 abgedeckt. Dieser Verguß besteht aus einem Reaktionsharz, vorzugsweise einem Epoxid-, Acryl- oder Silikonharz, der unter anderem dem Schutz des Halbleiterbauelements vor schädlichen Umgebungseinflüssen dient.

35

Zusätzlich kann der Verguß auch als Träger oder Matrix für ein Strahlungskonversionselement dienen. So kann beispiels-

weise durch Suspension eines geeigneten Farbstoffs in die Vergußmasse ein Bauelement geschaffen werden, das mischfarbiges Licht, bestehend aus dem Licht des Halbleiterbauelements und dem von dem Farbstoff umgewandelten Licht, abstrahlt. Bei
5 Verwendung eines im blauen Spektralbereich emittierenden Halbleiterbauelements und einem Farbstoff, der bei Anregung in diesem Spektralbereich im gelb-orangen Spektralbereich luminesziert, wird so eine Weißlichtquelle auf Halbleiterbasis geschaffen.

10

In Figur 8 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel eines optischen Bauelements gezeigt. Hier sind zwei, dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 5 entsprechende Halbleiterbauelemente auf einen gewinkelten Kühlkörper 12 aufgebracht. Auf einen
15 Verguß wurde verzichtet, da bereits durch die Formgebung der Fensterschicht die Auskopplung gegenüber Bauelementen nach dem Stand der Technik erhöht ist. Damit entfallen auch die mit einem Verguß verbunden Risiken für das Bauelement wie beispielsweise die Gefahr einer Delamination des Vergusses
20 vom Halbleiterkörper oder eine mögliche Alterung und Vergilbung des Vergusses.

Alternativ ist natürlich eine Abdeckung des Halbleiterbauelements mittels eines Vergusses möglich, falls dieser, be-
25 spielsweise zum Schutz des Halbleiterkörpers, zur Ausbildung eines optischen Elements wie etwa einer Linse, zur weiteren Erhöhung der Strahlungsausbeute oder als Matrix für Leuchtstoffe, erwünscht ist.

30 Die gezeigte Formgebung der Fensterschicht und insbesondere die Ausbildung von Ausnehmungen in Form mehrerer paralleler Gräben bewirkt eine gerichtete Abstrahlung der erzeugten Strahlung. Unter Berücksichtigung dieser gerichteten Abstrahlcharakteristik lassen sich Module mit einer Mehrzahl
35 von Halbleiterbauelement realisieren, die eine komplexere Abstrahlcharakteristik aufweisen. Solche komplexere Abstrahlcharakteristiken erfordern in der Regel zusätzliche, aufwendige

Optiken. Auf diese kann bei der Erfindung ebenso wie auf einen Reflektor vorteilhafterweise verzichtet werden, so daß derartige Module besonders platzsparend angeordnet werden können.

5

Die Erläuterung der Erfindung anhand der dargestellten Ausführungsbeispiele stellt selbstverständlich keine Einschränkung der Erfindung auf diese dar.

Patentansprüche

1. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement mit einer Mehrschichtstruktur (2), einer aktiven, der Strahlungserzeugung dienenden Schicht (3) innerhalb der Mehrschichtstruktur (2), elektrischen Kontakten (9a,b, 10), die mit der aktiven Schicht (3) elektrisch leitend verbunden sind und einem strahlungsdurchlässigen Fenster (1) mit einer ersten Hauptfläche (5) und einer der ersten Hauptfläche (5) gegenüberliegenden zweiten Hauptfläche (6), das mit der ersten Hauptfläche (5) an die Mehrschichtstruktur (3) grenzt, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Fenster (1) von der zweiten Hauptfläche (6) her mindestens eine grabenartige oder grubenartige Ausnehmung (4) gebildet ist, die die Strahlungsauskopplung aus dem Fenster (1) erhöht.
2. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fenster (1) Seitenflächen (8) aufweist, die senkrecht zu den Hauptflächen (5, 6) angeordnet sind oder zu den Hauptflächen (5, 6) orthogonale Teilbereiche aufweisen.
3. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Fenster (1) eine quader- oder würfelartige einhüllende Grundform aufweist.
4. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (4) mindestens eine ebene Seitenfläche (7a,b) aufweist, die mit der zweiten Hauptfläche (6) einen von 90° verschiedenen Winkel, vorzugsweise zwischen 20° und 70°, einschließt.

5. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (4) eine Bodenfläche aufweist, die vorzugs-
5 weise parallel zur zweiten Hauptfläche (6) ist.
6. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß
10 die Ausnehmung (4) in Form eines Grabens mit einem dreieckigen oder trapezförmigen Querschnitt gebildet ist, der sich zur ersten Hauptfläche (5) hin verjüngt.
7. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 5 oder 6,
15 dadurch gekennzeichnet, daß
eine Mehrzahl von grabenförmigen Ausnehmungen (4) in dem Fenster (1) ausgebildet ist.
- 20 8. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (4) von mindestens einer gekrümmten Fläche begrenzt wird.
- 25 9. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (4) im wesentlichen die Form einer Halbkugel,
30 eines Kugelsegments, eines Ellipsoidsegments, eines Kegels oder eines Kegelstumpfs aufweist.
10. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
35 dadurch gekennzeichnet, daß
der Brechungsindex des Fensters (1) größer als der Brechungsindex der Mehrschichtstruktur (3) ist.

11. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Fenster (1) Saphir, Quarzglas, Diamant, ITO, SnO, ZnO,
5 InO, SiC oder GaP enthält.

12. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, daß
10 die Mehrschichtstruktur auf GaN basiert und insbesondere mindestens eine der Verbindungen GaN, $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$),
 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) oder $\text{Al}_{1-x-y}\text{In}_x\text{Ga}_y\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) enthält.

13. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
15 dadurch gekennzeichnet, daß
die Mehrschichtstruktur (3) epitaktisch hergestellt ist.

14. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 13,
20 dadurch gekennzeichnet, daß
die Mehrschichtstruktur (3) auf einem Epitaxiesubstrat aufgeschieden wird und das Fenster (1) aus dem Epitaxisubstrat gefertigt ist.

25 15. Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Fenster (1) mit der Mehrschichtstruktur (3) mittels eines
30 Waferbondingverfahrens verbunden ist.

16. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
gekennzeichnet durch die Schritte
35 - Bereitstellen einer Fensterschicht mit einer ersten Hauptfläche und einer der ersten Hauptfläche gegenüberliegenden zweiten Hauptfläche,

- Aufbringen einer Halbleiterschichtenfolge auf die erste Hauptfläche der Fensterschicht,
- Ausbilden mindestens einer Ausnehmung in der Fensterschicht von der zweiten Hauptfläche her,
- 5 - Fertigstellen des Halbleiterbauelements.

17. Verfahren nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Halbleiterschichtenfolge epitaktisch auf der Fenster-
10 schicht abgeschieden wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Halbleiterschichtenfolge mittels eines Waferbonding-Ver-
15 fahrens auf die Fensterschicht aufgebracht wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung durch Einsägen der Fensterschicht auf der
20 zweiten Hauptfläche gebildet wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19,
dadurch gekennzeichnet, daß
die zweite Hauptfläche mit einem Sägeblatt mit Formrand ein-
25 gesägt wird.

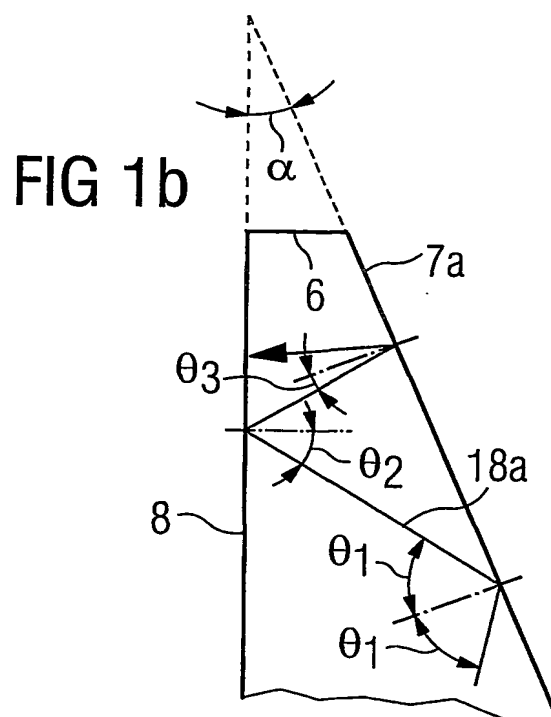
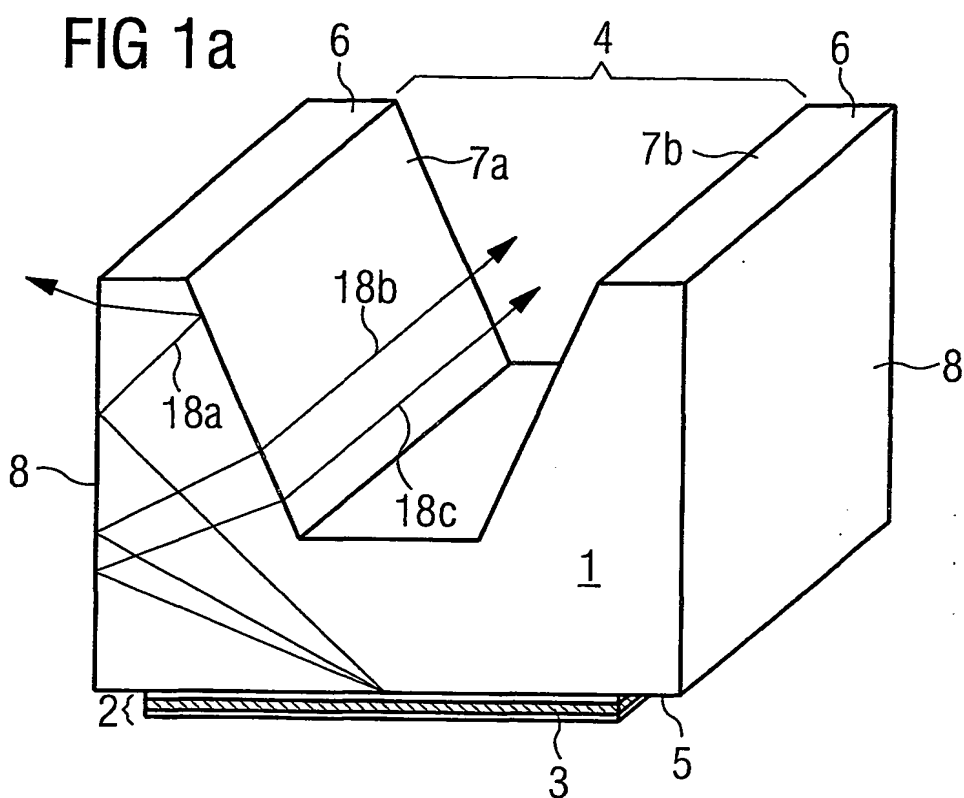
21. Verfahren nach Anspruch 20,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Sägeblatt im Sägebereich einen trapezförmigen Querschnitt
30 aufweist.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung in die zweite Hauptfläche eingätzt wird.
35

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18,
dadurch gekennzeichnet, daß

die Ausnehmung durch ein Laserablationsverfahren hergestellt wird.

1/5



2/5

FIG 2

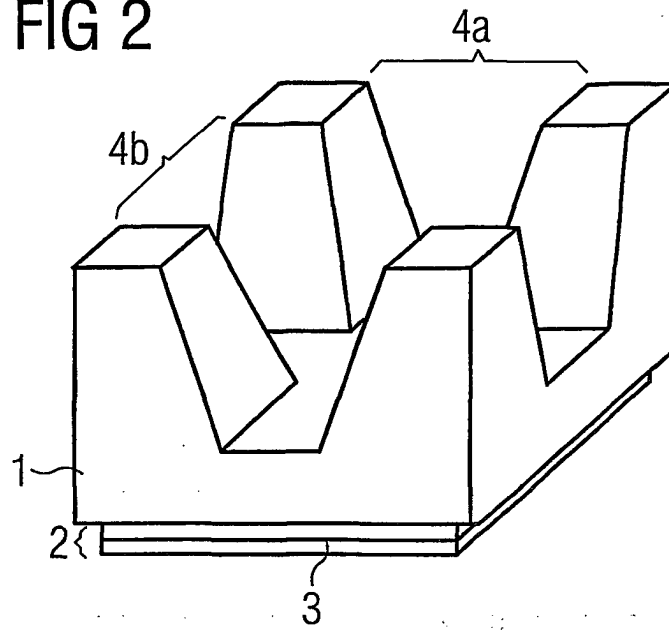


FIG 3a

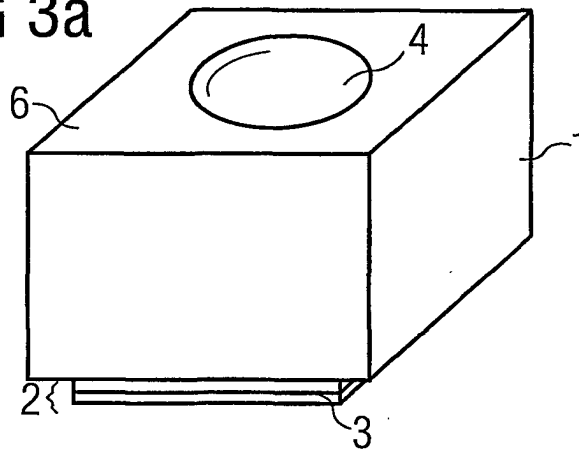
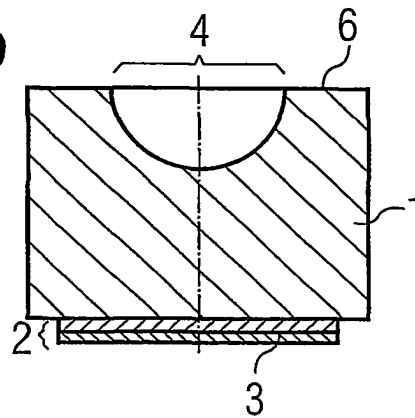


FIG 3b



3/5

FIG 4

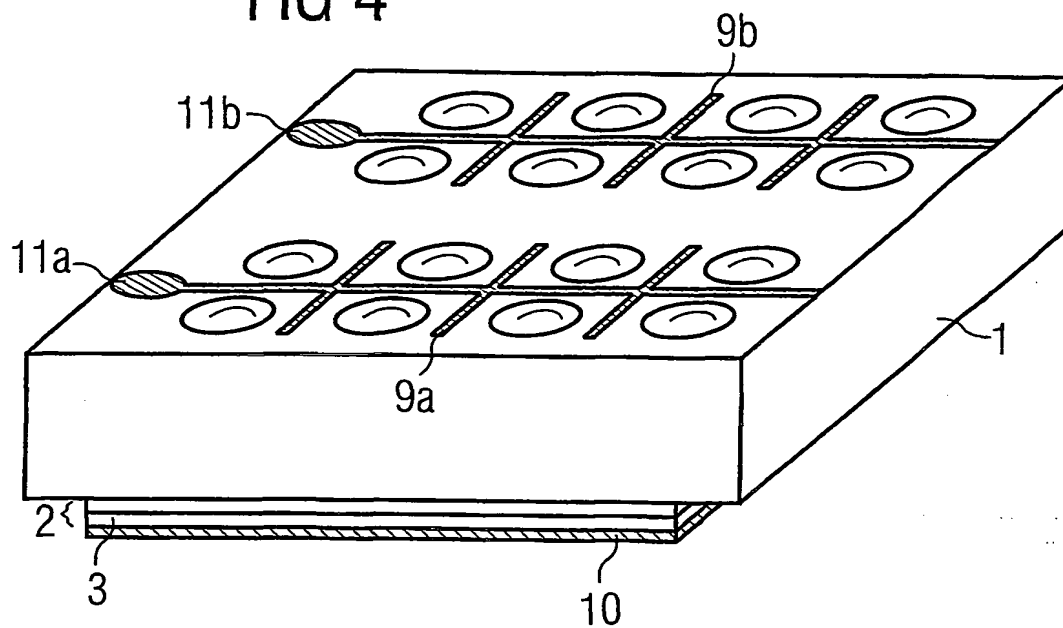
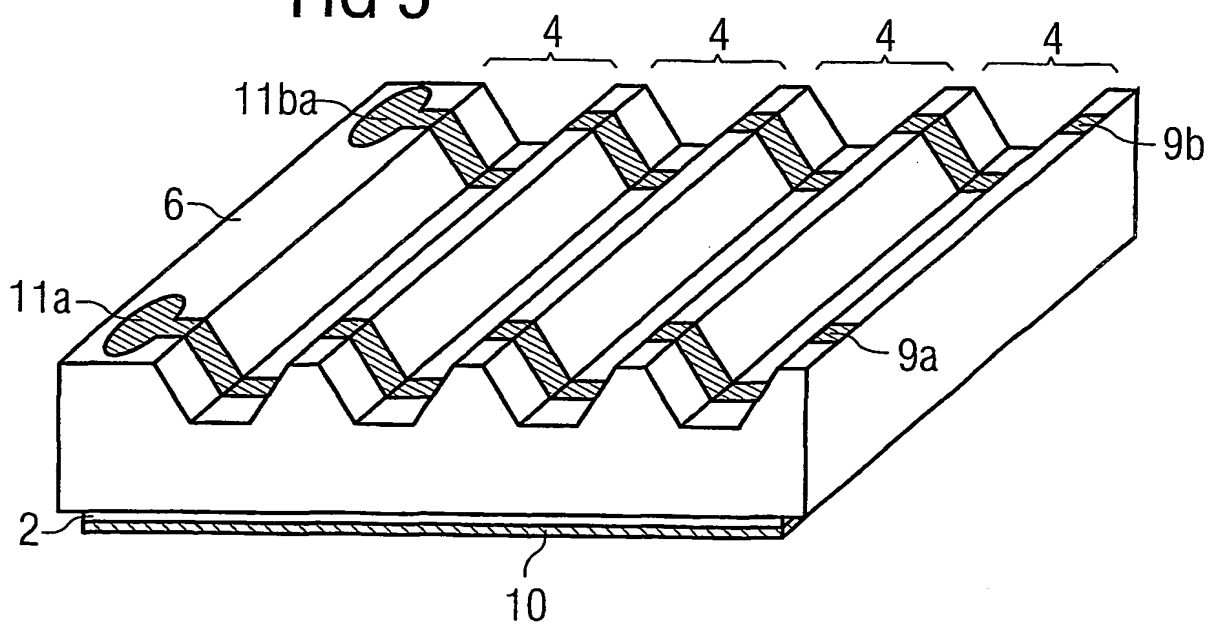


FIG 5



4/5

FIG 6

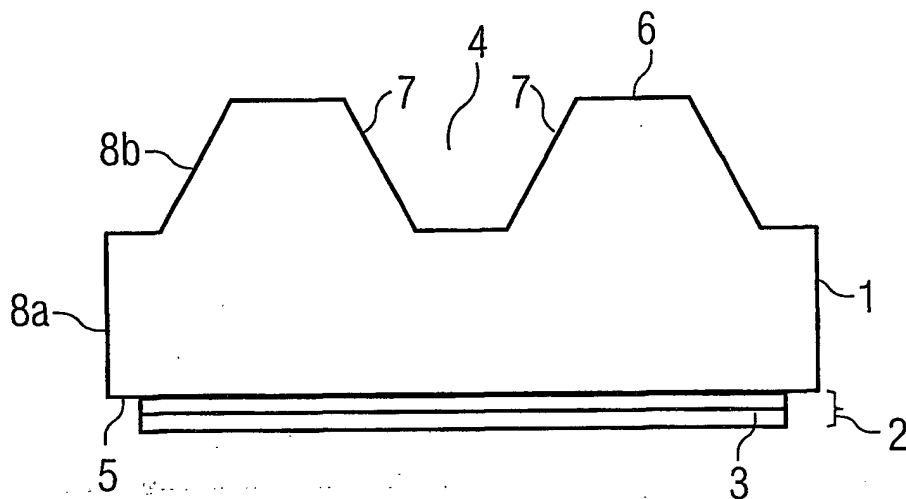
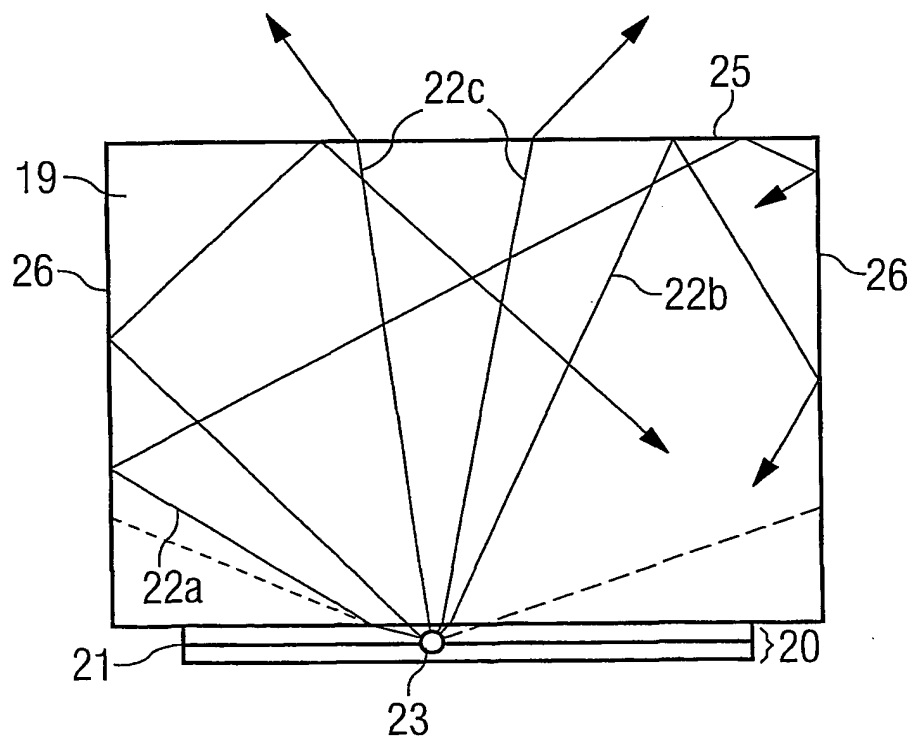


FIG 9

Stand der Technik



5/5

FIG 7

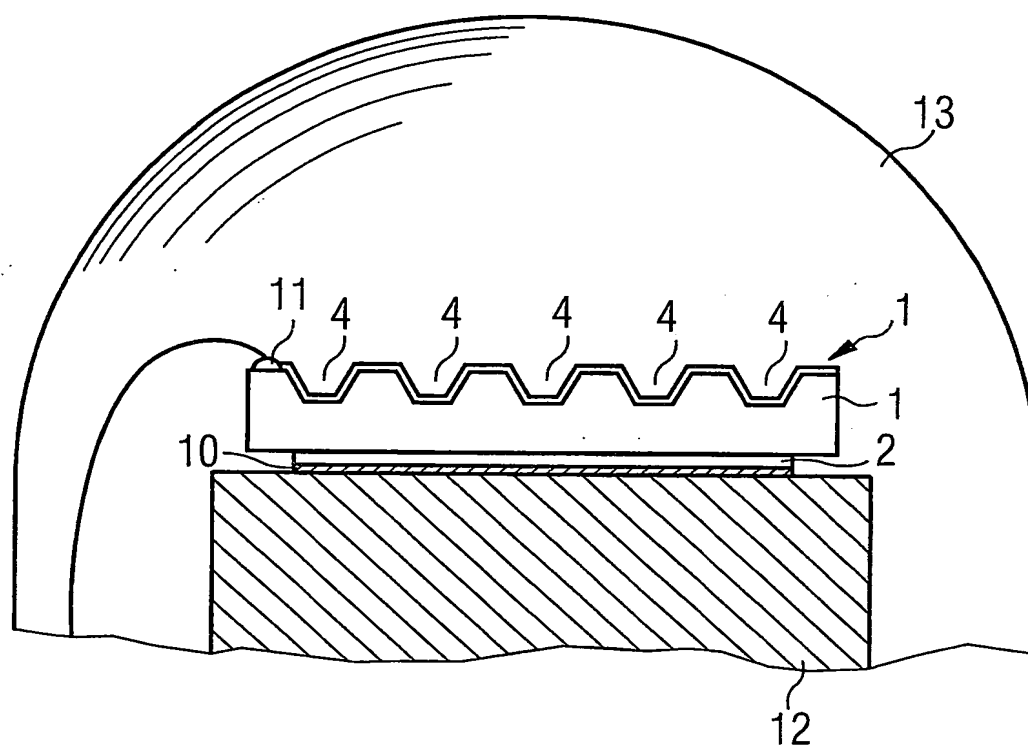
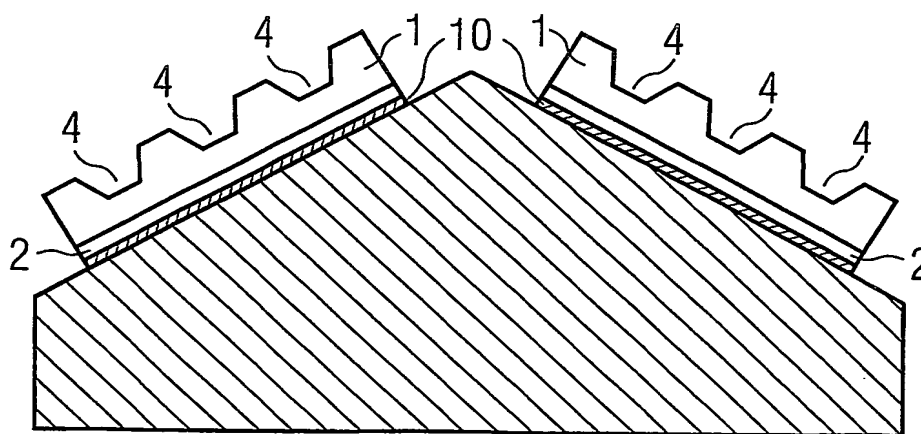


FIG 8



15X2

THIS PAGE BLANK (USPTO)